



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

7



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

01106256.9

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 29/10/01
LA HAYE, LE

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation

Anmeldung Nr.:
Application no.: 01106256.9
Demande n°:

Anmeldetag:
Date of filing: 14/03/01
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München
GERMANY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

Verfahren und Vorrichtung zur digitalen Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensations- und Feedforward-
Linearisierung eines Sendesignals

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

H03F1/32

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

THIS PAGE BLANK (USPTO)

EPO - Munich
33
14. März 2001

1

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur digitalen Vorverzerrungs-
/Frequenzgangkompensations- und Feedforward-Linearisierung
5 eines Sendesignals

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur
Linearisierung eines digital erzeugten Sendesignals mit kom-
binierter digitaler Vorverzerrungs-
10 /Frequenzgangkompensationslinearisierung und Feedforward-
Linearisierung (Vorwärtskorrektur-Linearisierung).

Weiterhin bezieht sich die vorliegende Erfindung auf Vorrich-
tungen mittels derer das erfindungsgemäße Verfahren durch-
15 führbar ist.

Bekannte Modulationsverfahren mit einem Amplitudenmodulati-
onsanteil erzeugen an den nichtlinearen Komponenten eines
Sendesignals störende Signalanteile, wie z.B. eine spektrale
20 Verbreiterung der Frequenzen des Sendesignals und das Anwach-
sen von Fehlersignalen.

Aus „High Linearity RF Amplifier Design“, Artech House, ISBN
1-58053-143-1 von P. B. Kerington sind z.B. Verfahren zur Li-
nearisierung von digitalen Signalen bekannt, insbesondere von
25 digitalen Signalen, wie sie in den Sendern in den Stationen
eines digitalen Mobilfunknetzes auftreten. Dabei handelt es
sich insbesondere z.B. um sogenannte Feedback- (Rück-
kopplungs-), Feedforward- (Vorwärtskorrektur-) und Predistor-
tion-(digitale Vorverzerrungs-)Verfahren. Weiterhin sind aus
30 diesem Stand der Technik sogenannte lineare Verstärker be-
kannt, die mit Backoff (Unteraussteuerung) im sogenannten
Class A-Betrieb betrieben werden. Diese bekannten lineare
Verstärker haben im allgemeinen jedoch einen zu geringen Wir-
35 kungsgrad.

2

Bei aus diesem Stand der Technik bekannten Verfahren hat insbesondere das Verfahren des Feedforward (FF = Vorwärtskorrektur) eine breite Anwendung gefunden. Dieses Verfahren wird z.B. bei sogenannten Multicarrier Poweramplifiern (Mehrkanalträger-Leistungsverstärkern) für den UMTS Standard (vgl. ETSI Norm ETSI/3088 unter www.etsi.org) angewandt.

Das Feedforward-Verfahren verlangt einen großen schaltungs-technischen Aufwand, hat aber den Vorteil, auch zeitabhängige Verzerrungen zu linearisieren. Um z.B. Mehrkanalträger-Leistungsverstärker realisieren zu können, die die GSM-Spezifikation erfüllen (vgl. GSM Norm 05.05), ist mehr als eine einzelne Feedforward-Schleife (Vorwärtskorrekturschleife) zur Linearisierung eines Sendesignals notwendig. Mit jeder zusätzlichen Feedforward-Schleife sinkt jedoch der Wirkungsgrad des Verstärkers, und die Kosten steigen. Aus diesem Grunde ist das aus „High Linearity RF Amplifier Design“ bekannte Verfahren zum Hintereinanderschalten mehrerer Feedforward-Schleifen in der Praxis unerwünscht.

Demgegenüber ist die Linearisierung mittels einer digitalen Vorverzerrung (digital predistortion) sehr preiswert zu realisieren, wenn man sich digitaler anwendungsfallspezifisch integrierter Schaltkreise, sogenannter ASICs, bedient. Ein solches Verfahren ist z.B. auch in „High Linearity RF Amplifier Design“ offenbart.

Diese Vorgehensweise alleine ist jedoch noch nicht ausreichend, um z.B. die Linearisierungsanforderungen der GSM-Norm zu erfüllen.

Insbesondere in digitalen Mobilfunknetzen ergeben sich durch die modernen Modulationsverfahren mit ihren hohen Spitzen- zu Mittelwerten bei der Modulation immer weitergehende Anforderungen an hochgradig linearisierte Signale, wobei die Linearisierung möglichst preiswert durchgeführt werden soll. Insbesondere beim Mehrkanalträgerbetrieb ergeben sich in der Praxis sehr hohe Anforderungen an die Linearität der Sende-

verstärker. Diese Anforderungen können die oben erläuterten bekannten Verfahren nicht befriedigend erfüllen.

5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zur Linearisierung eines digitalen Signals eines Senders, insbesondere eines Senders in einer Basisstation oder einer Mobilstation eines digitalen Mobilfunknetzes bereitzustellen, mit dem die Nachteile des Stands der Technik überwunden werden können.

10

Dies geschieht erfindungsgemäß durch die Maßnahmen des Anspruchs 1. Weiterhin wird erfindungsgemäß eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 9 bereitgestellt, mittels derer das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist. Die abhängigen Ansprüche betreffen bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

15

Die Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich auch aus den nachfolgenden Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen.

20

Es zeigen:

25 Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Baugruppe zur erfindungsgemäßen kombinierten Durchführung einer digitalen Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensationslinearisierung mit einer Feedforward-Linearisierung;

30 Fig. 2 ein Blockschaltbild einer Baugruppe, welche digitale Aufwärtsmischer zur Erzeugung eines vorverzerrten/frequenzgangkompensierten Signals und eines Referenzsignals verwendet, wie sie der in Fig. 1 gezeigten Baugruppe zugeführt werden;

35 Fig. 3 ein Blockschaltbild einer Baugruppe, welche IQ-Modulatoren (Inphase-Quadraturephase Modulatoren = Vektormodulatoren) zur Erzeugung eines vorverzerr-

4

ten/frequenzgangkompensierten Signals und eines Referenzsignals verwendet, wie sie der in Fig. 1 gezeigten Baugruppe zugeführt werden.

- 5 Die in Fig. 1 gezeigte Baugruppe umfasst obenliegend gezeichnet eine erste Signalbearbeitungskette zur Erzeugung eines vorverzerrten/frequenzgangkompensierten Signals sowie untenliegend gezeichnet eine zweite Signalbearbeitungskette zur Erzeugung eines Referenzsignals. Wie im folgenden ausgeführt
10 wird, sind die erste und die zweite Signalbearbeitungskette miteinander gekoppelt, um eine Korrekturschleife zur Linearisierung eines digitalen Signals zu bilden.

- Die Erzeugung eines in Fig. 1 über eine erste Eingabeleitung
15 1 eingehenden analogen vorverzerrten/frequenzgangkompensierten Signals und die Erzeugung eines über eine zweite Eingabeleitung 2 eingehenden analogen Referenzsignals werden weiter unten eingehender in Verbindung mit Fig. 2 und 3 erläutert.

- 20 In der in Fig. 1 oben liegend gezeichneten ersten Signalbearbeitungskette wird ein über eine erste Verbindungsleitung 1 eingehendes analoges vorverzerrtes und/oder frequenzgangkompensiertes Signal auf einen nichtlinearen Hauptverstärker 3
25 gegeben und dort verstärkt.

- Das vom nichtlinearen Hauptverstärker 3 verstärkte analoge vorverzerrte/frequenzgangkompensierte Signal wird auf einen ersten Koppler 4 gegeben. Einerseits gibt der erste Koppler 4
30 das verstärkte analoge vorverzerrte/frequenzgangkompensierte Signal auf eine erste Verzögerungseinheit 5 weiter. Andererseits steht der erste Koppler 4 mit einem zweiten Koppler 8 in der zweiten Signalbearbeitungskette in Verbindung.

- 35 Die erste Verzögerungseinheit 5 steht mit einem dritten Koppler 6 in Verbindung. Dieser steht auch mit dem Ausgang eines

5

sich in der unteren Signalbearbeitungskette befindlichen Verstärkers 11 in Verbindung.

Ein über die zweite Eingabeleitung 2 eingehendes analoges Referenzsignal wird in der unteren Signalbearbeitungskette zunächst auf eine zweite optionale Verzögerungseinheit 7 gegeben. Das von der zweiten Verzögerungseinheit 7 verzögert ausgegebene Referenzsignal wird auf den zweiten Koppler 8 gegeben, wo es mit dem aus dem ersten Koppler 4 zugeführten verstärkten vorverzerrten/frequenzgangkompensierten Signal kombiniert wird.

Der zweite Koppler 8 gibt sodann die Differenz aus dem vom ersten Koppler 4 eingespeisten verstärkten vorverzerrten/frequenzgangkompensierten Signal und dem verzögerten Referenzsignal als Aufhebungssignal (Fehlersignal) einerseits auf eine optionale Vorrichtung 10 zur Beobachtung der Aufhebung der beiden Signale, andererseits auf eine Einheit 9 zur Anpassung der Phase und der Amplitude des Fehlersignals. Die Einheit 9 gibt ein phasen- und amplitudenangepasstes Fehlersignal auf einen zweiten Verstärker 11. Dieser zweite Verstärker 11 hat die Funktion eines Fehlerverstärkers in der Korrekturschleife. Von der optionalen Vorrichtung 10 zur Beobachtung der Aufhebung der beiden Signale wird optional ein Rückkopplungssignal (sogenanntes „logisches Feedback“) zu den weiter unten ausführlicher erläuterten Einheiten 21, 22 bzw. 31, 32 (siehe Fig. 2 und 3) gegeben.

Der zweite Verstärker 11 gibt ein verstärktes phasen- und amplitudenangepasstes Fehlersignal auf den dritten Koppler 6.

Im dritten Koppler 6 werden das aus der zweiten Verzögerungseinheit 5 in der ersten Signalbearbeitungskette stammende verzögerte verstärkte vorverzerrte/frequenzgangkompensierte Signal und das aus dem zweiten Verstärker 11 in der unteren Signalbearbeitungskette stammende verstärkte phasen- und amplitudenangepasste Fehlersignal zusammengeführt, d.h. vonein-

6

ander substrahiert. Das im Koppler 6 zusammengeführte Signal ist nun wegen der Subtraktion des Fehlersignals hochgradig linearisiert.

Das aus dieser Subtraktion resultierende hochgradig linearisierte Signal wird über eine Ausgabeleitung auf einen Korrekturmonitor 13 gegeben, von wo ein optionales Rückkopplungssignal („logisches Feedback“) zu den weiter unten ausführlicher erläuterten Einheiten 21, 22 bzw. 31, 32 (siehe Fig. 2 und 3) zurückgeführt wird. Vom Korrekturmonitor 13 wird das hochgradig linearisierte Signal weiter über die Ausgabeleitung auf eine Sendeantenne (nicht gezeigt) geführt.

Die Anordnung aus erstem Koppler 4, erster Verzögerungseinheit 5, drittem Koppler 6, zweitem Koppler 8, Einheit 9 zur Anpassung der Phase und der Amplitude des Fehlersignals und Fehlerverstärker 11 bildet eine Vorwärtskorrekturschleife für einen Feedforward-Verstärker.

In Fig. 2 ist das Blockschaltbild einer Baugruppe zur Erzeugung eines vorverzerzten/frequenzgangkompensierten Signals und eines Referenzsignals gemäß einer ersten Ausführungsform zu sehen, für deren Erzeugung digitale Aufwärtsmischer verwendet werden.

In der in Fig. 2 gezeigten Baugruppe werden in eine digitale Sendeeinheit 20, wie sie z.B. in einer Basisstation oder einer Mobilstation in einem digitalen Mobilfunknetz Verwendung findet, eingehende digitale modulierte Daten (auch für mehrere Trägerfrequenzen) in eine in Fig. 2 oben liegend gezeichnete Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensationssignalerzeugungskette und in eine in Fig. 2 unten liegend gezeichnete Referenzsignalerzeugungskette eingespeist.

In der Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensationssignalerzeugungskette gelangen die von der digitalen Sendeeinheit 20 kommenden digitalen modu-

lierten Daten zunächst in eine Einheit 21 zur Vorverzerrung und/oder Frequenzgangkompensation. Dort werden die parametrisierten digitalen Daten durch numerische Manipulation der Parameter manipuliert, also „numerisch verzerrt“. Die so verzerrten Daten werden z.B. durch numerisch gewählte Verzerrungskoeffizienten repräsentiert. Die digitale Vorverzerrung und/oder die Frequenzgangkompensation haben das Ziel, die Nichtlinearität des Hauptverstärkers 3 in dem Sinne zu kompensieren, dass die Leistung des Fehlersignals nach dem Kopp-
5 ler 8 minimiert wird. Bei der Frequenzgangkompensation wird insbesondere die Nichtlinearität des Hauptverstärkers 3 bei der frequenzspezifischen Leistungsabgabe kompensiert.
10

Von der Einheit 21 zur Vorverzerrung und/oder Frequenzgangkompensation werden vorverzerrte und/oder frequenzgangkompensierte digitale modulierte Daten in eine optionale erste Einheit 23 zur digitalen (Frequenz)-Aufwärtsmischung gegeben. Von dort werden aufwärtsgemischte vorverzerrte/ frequenzgangkompensierte digitale modulierte Daten in einen ersten Digital-Analog-Wandler 25 gegeben. Dieser gibt sodann über die
15 erste Eingabeleitung 1 analoge aufgewärtsgemischte vorverzerrte/frequenzgangkompensierte Signale auf den in Fig. 1 gezeigten nichtlinearen Hauptverstärker 3.
20

In der in Fig. 2 untenliegend gezeigten Referenzsignalkette werden die von der Sendeeinheit 20 eingespeisten digitalen modulierten Daten (auch für mehrere Trägerfrequenzen) auf eine Einheit 22 zur Anpassung der Phase und der Amplitude gegeben. Von dort werden phasen- und amplitudenangepasste digitale modulierte Daten auf eine optionale zweite Einheit 24 zur
25 digitalen (Frequenz-)Aufwärtsmischung gegeben. Diese schickt (frequenz-)aufwärtsgemischte phasen- und amplitudenangepasste digitale modulierte Daten auf einen zweiten Digital-Analog-Wandler 26. Dieser gibt sodann über die zweite Eingabeleitung
30 2 ein analoges Referenzsignal auf die in Fig. 1 gezeigte optionale zweite Verzögerungseinheit 7.
35

In Fig. 2 sind die erste und zweite Einheit 23, 24 zur digitalen Aufwärtsmischung optional und dienen zur Umsetzung der Frequenz des Eingangssignals in eine Zwischenfrequenzlage.

- 5 In Fig. 3 ist für eine zweite Ausführungsform das Blockschaltbild einer Baugruppe zu sehen, bei welcher I/Q Modulatoren (Vektormodulatoren) verwendet werden, um ein vorverzerrtes und/oder frequenzgangkompensiertes Signal sowie ein Referenzsignal zu erzeugen, die zur weiteren Bearbeitung in
10 die in Fig. 1 gezeigte Baugruppe zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingespeist werden.

In Fig. 3 werden von einer Sendeeinheit 30, wie sie z.B. in einer Basisstation oder einer Mobilstation in einem digitalen
15 Mobilfunknetz Verwendung findet, eingehende digitale modulierte Daten, in eine in Fig. 3 oben liegend gezeichnete Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensationssignalerzeugungskette und in eine in Fig. 3 unten liegend gezeichnete Referenzsignalerzeugungskette eingespeist.

20

In der Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensationssignalerzeugungskette gelangen die von der Sendeeinheit 30 kommenden digitalen modulierten Daten zunächst in eine Einheit 31 zur digitalen Vorverzerrung
25 und/oder Frequenzgangkompensation. Auch hier findet eine „numerische Vorverzerrung“ und/oder eine Frequenzgangkompensation statt. Von der Einheit 31 werden vorverzerrte und/oder frequenzgangkompensierte digitale modulierte Daten in eine erste Einheit 33 zur I/Q-Zweifach-DA-Wandlung gegeben. Von dort
30 werden analoge gewandelte Daten in einen I/Q-Modulator 35 gegeben.

In der in Fig. 3 gezeigten Referenzsignalerzeugungskette werden die von der Sendeeinheit 30 eingespeisten digitalen modulierten Daten auf eine Einheit 32 zur Anpassung der Phase und
35 der Amplitude gegeben. Von dort werden phasen- und amplitudenangepasste digitale modulierte Daten auf eine zweite Ein-

heit 34 zur I/Q-Zweifach-DA-Wandlung gegeben. Die zweite Einheit 34 zur I/Q-Zweifach-DA-Wandlung schickt analoge gewandelte Daten auf einen zweiten I/Q-Modulator 36.

5 Der erste I/Q-Modulator 35 und der zweite I/Q-Modulator 36 sind über eine optionale erste Verbindungsleitung 38 miteinander verbunden. In die erste Verbindungsleitung 38 werden Signale von einer optionalen LO-Einheit 37 (local oscillator = lokaler Schwingkreis) eingespeist. Dadurch kann eine Frequenzumsetzung der von den I/Q Dual-Digital-Analog-Wandlern
10 33, 34 kommenden Signale stattfinden. Die erste Verbindungsleitung dient dazu, das von der LO-Einheit 37 eingespeiste Signal phasengleich zu verteilen.

15 Aus der Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensationssignalerzeugungskette wird sodann über die erste Eingabeleitung 1 ein analoges vorverzerrtes und/oder frequenzgangkompensiertes Signal auf den in Fig. 1 gezeigten nichtlinearen Hauptverstärker 3 gegeben.

20 Aus der Referenzsignalerzeugungskette wird sodann über eine zweite Eingabeleitung 2 ein analoges Referenzsignal auf die in Fig. 1 gezeigte zweite Verzögerungseinheit 7 gegeben.

25 Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Linearisierung eines Eingangssignals mittels Feedforward mit einem Verfahren zur digitalen Vorverzerrung und/oder Frequenzgangkompensation kombiniert. Dadurch ergibt sich eine sehr hohe Linearisierungswirkung bei einem relativ geringen schaltungstechnischen
30 Aufwand.

Erfindungsgemäß werden zwei verschiedene Signale, nämlich ein digital vorverzerrtes und/oder frequenzgangkompensiertes Signal und ein unverzerrtes Referenzsignal in der Korrekturschleife eines Feedforward-Verstärkers kombiniert. Das Referenzsignal dient zur Kompensation des vorverzerrten Signals
35 in der Korrekturschleife.

Die notwendige adaptive Einstellung der Phase und der Amplitude des vorverzerrten/frequenzgangkompensierten Signals und des Referenzsignals für eine optimale Unterdrückung des Signalanteils im Fehlerverstärker 11 erfolgt durch Rückkopplung („logisches Feedback“).

Wie in Fig. 1 zu sehen ist, erfolgt eine optionale logische Rückkopplung von dem Korrekturmonitor 13 in der Ausgabeleitung 12 auf die Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensationssignalerzeugungskette (genauer: auf die sich dort befindlichen Einheiten 21 bzw. 31) und die Referenzsignalerzeugungskette (genauer: auf die sich dort befindlichen Einheiten 22 bzw. 32), und/oder eine optionale logische Rückkopplung von dem Korrekturmonitor 13 auf die Einheit 9 zur Anpassung der Phase und Amplitude des Fehlersignals in der Korrekturschleife, und/oder eine optionale logische Rückkopplung von der Vorrichtung 10 zur Beobachtung des Aufhebungssignals auf die Vorverzerrungs-/Frequenzgangkompensationssignalerzeugungskette (genauer: auf die sich dort befindlichen Einheiten 21 bzw. 31) und die Referenzsignalerzeugungskette (genauer: auf die sich dort befindlichen Einheiten 22 bzw. 32).

Durch solche logische Rückkopplungen werden die Phase und die Amplitude des Referenzsignals und die Vorverzerrungskoeffizienten bzw. die Frequenzgangkompensation des auf den Hauptverstärker 3 über die Eingabeleitung 1 gegebenen Signals so eingestellt, dass z.B. eine minimale Leistung nach dem zweiten Koppler 8 durch die Einheit 10 zur Überwachung der Aufhebung in der Korrekturschleife gemessen wird.

Wichtig ist, dass zumindest eine der drei in Fig. 1 gezeigten logischen Rückkopplungsschleifen ausgebildet ist, optional können zwei oder alle drei logischen Rückkopplungsschleifen miteinander kombiniert sein, um die Stabilisierung der Rückkopplung zu erhöhen.

Der zweite Koppler 8 speist den sogenannten Fehlerverstärker 11 in der Korrekturschleife. Die nochmalige Anpassung der Phase und Amplitude des Fehlersignals in der Einheit 9 dient zur genauen Einstellung des Korrektursignals im Verhältnis zum Signal des Hauptverstärkers, und insbesondere auch zur Kompensation eines Temperaturdrifts und zur Kompensation des Frequenzgangs des Fehlerverstärkers 11.

- 10 Die Korrekturschleife hat dieselbe Wirkung wie in einem herkömmlichen Feedforward-Verstärker.

Die separate Erzeugung des vorverzerrten und/oder frequenzgangkompensierten Signals hat den weiteren Vorteil, dass für die adaptive Einstellung der Phase und der Amplitude des Fehlersignals eventuell benötigte Pilottöne (das sind bewusst in die digitalen Eingangssignale eingeführte Fehlersignale mit kleiner Amplitude) ohne zusätzlichen schaltungstechnischen Aufwand ebenfalls digital erzeugt werden können. Die Phasen- und Amplitudeneinstellung (oder I/Q-Einstellung) in der Korrekturschleife wird so gewählt, dass eine maximale Unterdrückung der um 180° phasenverschobenen und in der Korrekturschleife verstärkten Fehlersignale (= Korrektursignale) erreicht wird. Dies geschieht durch die Einheit 9.

- 25 Die Erzeugung des Referenzsignals und des vorverzerrten/frequenzgangkompensierten Signals kann auf einer Endfrequenzlage oder auf einer Zwischenfrequenz erfolgen, die dann noch auf die Endfrequenz umgesetzt werden muss.

- 30 Zur Erzeugung des Referenzsignals und des vorverzerrten Signals gibt es, wie in Verbindung mit Fig. 2 und 3 erläutert, verschiedene Möglichkeiten. Die in Fig. 3 gezeigten analogen I/Q-Modulatoren wirken dabei auf eine Endfrequenz oder eine Zwischenfrequenz ein. Eine Zwischenfrequenz wird durch einen optionalen ersten lokalen Oszillator 37 und/oder einen optionalen zweiten lokalen Oszillator 39 erzeugt. Die vom optionalen zweiten lokalen Oszillator 39 erzeugte Zwischenfrequenz

wird dem vorverzerzten/frequenzgangkompensierten Signal bzw. dem Referenzsignal über eine zweite Verbindungsleitung 40 und je einen Mischer 41 bzw. 42 zugemischt. Dadurch erfolgt eine Frequenz-Umsetzung des I/Q modulierten I/Q Zweifach-Digital-Analog-gewandelten digital vorverzerzten Eingangssignals mit dem I/Q modulierten I/Q Zweifach-Digital-Analog-gewandelten digital vorverzerzten Signals.

Je nach der ausgewählten Erzeugungsart muss ein eventuell noch auftretender Verzögerungsunterschied, der die Linearisierungsbandbreite beschränkt, durch die Einfügung einer zusätzlichen Verzögerungseinheit nach der Referenzsignalerzeugung ausgeglichen werden. Hierzu dient die in Fig. 1 gezeigte optionale zweite Verzögerungseinheit 7.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung besteht darin, dass sie zwei effiziente Linearisierungsverfahren kombiniert, und damit eine sehr hohe Linearisierungswirkung erreicht.

Gleichzeitig ist sie in idealer Weise mit neuartigen hoch integrierten Wandlerkonzepten realisierbar, die z.B. direkt in der Endfrequenzlage arbeiten.

Damit ist es möglich, mit einer Lösung zu arbeiten, die im Vergleich zur Einfügung einer zweiten Feedforward-Schleife wesentlich kostengünstiger ist und im Vergleich zu einer ausschließlich adaptiven Vorverzerrung auf der Endfrequenzlage eine hohe Linearisierung erreichen kann.

EPO - Munich
33
14. März 2001

13

Patentansprüche

1. Verfahren zur Linearisierung eines digital erzeugten Signals, insbesondere eines Sendesignals in einem Sender, der
5 sich in einer Station in einem digitalen Mobilfunknetz befindet,

g e k e n n z e i c h n e t d u r c h:

- 10 Erzeugen eines analogen vorverzerzten und/oder frequenzgangkompensierten Signals aus dem digital erzeugten Signal;

Erzeugen eines analogen phasen- und amplitudenangepassten Referenzsignals aus dem digital erzeugten Signal;

15

- Erzeugen eines Fehlersignals durch Subtraktion des analogen vorverzerzten und/oder frequenzgangkompensierten Signals und des analogen phasen- und amplitudenangepassten Referenzsignals voneinander, und Überlagern des Fehlersignals mit dem
20 vorverzerzten und/oder frequenzgangkompensierten Signal zu einem Ausgabesignal, wobei eine numerische Variation des vorverzerzten und/oder frequenzgangkompensierten Signals sowie eine Phasen- und Amplitudenanpassung des Referenzsignals durch logische Rückkopplung von das Fehlersignal und/oder das
25 Ausgabesignal bewertenden Meßgrößen auf das vorverzerzte und/oder frequenzgangkompensierte Signal und das phasen- und amplitudenangepasste Referenzsignal durchgeführt wird.

30

2. Verfahren nach Anspruch 1,

g e k e n n z e i c h n e t d u r c h,

- 35 Anpassen der Phase und der Amplitude des leistungsminimierten Fehlersignals und Kombinieren des phasen- und amplitudenangepassten Fehlersignals mit dem verzögerten analogen vorver-

14

zerzten und/oder frequenzgangkompensierten Signal zu einem linearisierten Ausgabesignal.

5 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

10 dass das analoge vorverzernte und/oder frequenzgangkompen-
sierte Signal vor dem Erzeugen des Fehlersignals verstärkt
wird.

15 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

20 dass das phasen- und amplitudenangepasste Fehlersignal vor
dem Kombinieren mit dem verzögerten analogen vorverzernten
Signal verstärkt wird.

25 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

30 dass das vorverzernte und/oder frequenzgangkompensierte Sig-
nal folgendermaßen aus dem digital erzeugten Signal gewonnen
wird:

digitales Vorverzerren und/oder Frequenzgangkompensieren des
digital erzeugten Signals;

35 optionales digitales Aufwärtsmischen des digital erzeugten
Signals;

15

Digital-Analog-Wandeln des aufwärtsgemischten vorverzerzten digital erzeugten Signals.

5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

10 dass das vorverzerzte und/oder frequenzgangkompensierte Signal folgendermaßen aus dem digital erzeugten Signal gewonnen wird:

digitales Vorverzerren und/oder Frequenzgangkompensieren des digital erzeugten Signals;

15

I/Q Zweifach-Digital-Analog-Wandeln des digital vorverzerzten digital erzeugten Signals;

20 I/Q Modulieren des I/Q Zweifach-Digital-Analog-gewandelten digital vorverzerzten digital erzeugten Signals.

25 7. Verfahren nach einem Ansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass das Referenzsignal folgendermaßen aus dem digital erzeugten Signal gewonnen wird:

30

Anpassen der Phase und der Amplitude des digital erzeugten Signals;

35 digitales Aufwärtsmischen des phasen- und amplitudenangepassten digital erzeugten Signals;

16

Digital-Analog-Wandeln des aufwärtsgemischten vorverzerzten digital erzeugten Signals.

5

8. Verfahren nach einem Ansprüche 1 bis 4 oder 6,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

10 dass das Referenzsignal folgendermaßen aus dem digital erzeugten Signal gewonnen wird:

Anpassen der Phase und der Amplitude des digital erzeugten Signals;

15

I/Q Zweifach-Digital-Analog-Wandeln des digital vorverzerzten digital erzeugten Signals;

20

I/Q Modulieren des I/Q Zweifach-Digital-Analog-gewandelten digital vorverzerzten digital erzeugten Signals, wobei das I/Q modulierte I/Q Zweifach-Digital-Analog-gewandelte digital vorverzerzte digitale modulierte Eingangssignal mit dem I/Q modulierten I/Q Zweifach-Digital-Analog-gewandelten digital vorverzerzten digitalen Sendesignal frequenzabgeglichen wird.

25

9. Vorrichtung zur Linearisierung eines digital erzeugten Signals, insbesondere eines Sendesignals in einem Sender, der
30 in einer Station in einem digitalen Mobilfunknetz verwendbar ist,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

35 dass die Vorrichtung umfasst:

17

eine erste Signalbearbeitungsstrecke, auf der ein aus dem digital erzeugten Signal abgeleitetes analoges vorverzerrtes und/oder frequenzgangkompensiertes Signal in einen nichtlinearen Hauptverstärker (3) geführt wird;

5

eine zweite Signalbearbeitungsstrecke, auf der ein aus dem digital erzeugten Signal abgeleitetes analoges Referenzsignal geführt wird;

10 Mittel (4, 8), um das analoge vorverzerrte und/oder frequenzgangkompensierte Signal und das analoge Referenzsignal zu einem Fehlersignal zu kombinieren und in die zweite Signalbearbeitungsstrecke einzuführen;

15 Mittel (21, 31) in einer Vorverzerrungs- und/oder Frequenzgangkompensationssignalerzeugungsstrecke und Mittel (22, 32) in einer Referenzsignalerzeugungsstrecke, um die Vorverzerrung des vorverzerrten und/oder frequenzgangkompensierten Signals und die Phase und die Amplitude des Referenzsignals zu vari-
20 ieren;

einen zweiten Verstärker (11) in der zweiten Signalbearbeitungsstrecke, um das phasen- und/oder amplitudenvariierte Fehlersignal zu verstärken;

25

Mittel (6), welche ein Ausgangssignal des zweiten Verstärkers (11) in der zweiten Signalbearbeitungsstrecke mit dem analogen vorverzerrten und/oder frequenzgangkompensierten Signal in der ersten Signalbearbeitungsstrecken zu einem Ausgabesignal kombinieren;
30

wobei die Mittel (8), um das analoge vorverzerrte Signal und das analoge Referenzsignal zu einem Fehlersignal zu kombinieren, der zweite Verstärker (11) in der zweiten Signalbearbeitungsstrecke, um das phasen- und/oder amplitudenvariierte Fehlersignal zu verstärken und die Mittel (6), welche ein
35 Ausgangssignal des zweiten Verstärkers (11) in der zweiten

18

Signalbearbeitungsstrecke mit dem analogen vorverzerren Signal in der ersten Signalbearbeitungsstrecke kombinieren, in einer Korrekturschleife angeordnet sind; und

- 5 wobei Mittel (10, 13) zur logischen Rückkopplung von das Fehlersignal und/oder das Ausgabesignal bewertenden Meßgrößen auf das vorverzernte und/oder frequenzgangkompensierte Signal und das phasen- und amplitudenangepasste Referenzsignal vorgesehen sind.

10

10. Vorrichtung nach Anspruch 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

15

dass in der zweiten Signalbearbeitungsstrecke eine Einheit (9) zur Anpassung der Phase und Amplitude des Fehlersignals vorgesehen ist.

20

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

25

dass die Vorrichtung umfasst:

eine erste Verzögerungseinheit (5) zur Verzögerung des analogen vorverzerren Signals in der ersten Signalbearbeitungs-

30

strecke.

35

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,

19.

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass eine Vorrichtung (10) zur Beobachtung des Fehlersignals in der zweiten Signalbearbeitungsstrecke vorgesehen ist.

5

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass in der zweiten Signalbearbeitungsstrecke vor den Mitteln (4, 8), um das analoge vorverzernte Signal und das analoge Referenzsignal zu einem Fehlersignal zu kombinieren und in
15 die zweite Signalbearbeitungsstrecke einzuführen, eine zweite Verzögerungseinheit (7) zum Verzögern des Referenzsignals angebracht ist.

20 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass sie zusätzlich enthält:

25

eine Sendeeinheit (20, 30) zur Erzeugung des digitalen Signals;

30

eine erste Signalformungsstrecke zum Ableiten eines analogen vorverzernten und/oder frequenzgangkompensierten Signals aus dem digital erzeugten Signal, wobei der Ausgang der ersten Signalformungsstrecke in eine erste Eingabeleitung (1) mündet, die zum nichtlinearen Hauptverstärker (3) in der ersten Signalbearbeitungsstrecke führt;

35

eine zweite Signalformungsstrecke zum Ableiten eines analogen Referenzsignals aus dem von der Sendeeinheit empfangenen di-

20

gitalen Signal; wobei der Ausgang der zweiten Signalformungs-
strecke in eine zweite Eingabeleitung (2) mündet, die zu den
Mitteln (8) führt, um das analoge vorverzernte Signal und das
analoge Referenzsignal zu einem Fehlersignal zu kombinieren
5 und in die zweite Signalbearbeitungsstrecke einzuführen.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die erste Signalformungsstrecke umfasst:

eine digitale Vorverzerrungseinheit (21), in die das in der
15 Sendeeinheit (20) digital erzeugte Signal eingespeist und di-
gital vorverzernt wird;

eine erste Einheit (23) zur digitalen Aufwärtsmischung der
von der digitalen Vorverzerrungseinheit ausgegebenen vorver-
20 zernten digitalen Daten;

einen ersten Digital-Analog-Wandler (27), der die von der
Einheit (23) zur digitalen Aufwärtsmischung ausgegebenen digi-
talen Daten in das analoge vorverzernte Signal wandelt;

25

und dass die zweite Signalformungsstrecke umfasst:

eine zweite Einheit (22) zur Anpassung der Phase und der Amp-
litude der von der Sendeeinheit (20) empfangenen digitalen
30 modulierten Datensignale;

eine zweite Einheit (24) zur digitalen Aufwärtsmischung der
von der Einheit (22) zur Anpassung der Phase und der Amplitu-
de ausgegebenen digitalen Daten;

35

21

einen zweiten Digital-Analog-Wandler (26), der die von der Einheit (24) zur digitalen Aufwärtsmischung ausgegebenen digitalen Daten in das analoge Referenzsignal wandelt.

5

16. Vorrichtung nach Anspruch 14,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

10 dass die erste Signalformungsstrecke umfasst:

eine digitale Vorverzerrungseinheit (30), in die das von der Sendeeinheit (30) digital erzeugte Signal eingespeist und digital vorverzerrt und/oder frequenzgangkompensiert wird;

15

eine erste Einheit (33) zur I/Q Zweifach-Digital-Analog-Wandlung der von der digitalen Vorverzerrungseinheit (30) ausgegebenen vorverzerrten und/oder frequenzgangkompensierten digitalen Daten;

20

einen ersten I/Q-Modulator (35) zur Modulation des von der ersten Einheit (33) zur I/Q Zweifach-Digital-Analog-Wandlung ausgegebenen Signals in das analoge vorverzerrte und/oder frequenzgangkompensierte Signal;

25

und dass die zweite Signalformungsstrecke umfasst:

eine Einheit (32) zur Anpassung der Phase und der Amplitude eines von der Sendeeinheit (30) empfangenen digital erzeugten Signals;

30

eine zweite Einheit (34) zur I/Q Zweifach-Digital-Analog-Wandlung der von der Einheit (32) zur Anpassung der Phase und der Amplitude ausgegebenen vorverzerrten und/oder frequenzgangkompensierten digitalen Daten;

35

22

einen zweiten I/Q-Modulator (35) zur Modulation des von der Einheit (33) zur I/Q dual Digital-Analogwandlung ausgegebenen Signals in das analoge Referenzsignal;

- 5 wobei der erste I/Q-Modulator (35) und der zweite I/Q-Modulator (36) über eine Verbindungsleitung (38) verbunden sind, in die die Signale einer lokalen Schwingkreis-Einheit (37) eingespeist werden.

23

Zusammenfassung

Zur Linearisierung eines digitalen Signals werden zwei verschiedene Signale in die Korrekturschleife eines Feedforward-Verstärkers eingespeist. Eines der Signale (Hauptsignal) wird, bevor es auf einen nichtlinearen Verstärker (3) gegeben wird, mit einer Vorverzerrung und/oder Frequenzgangkompensation beaufschlagt. Ein zweites Signal bleibt unverzerrt und dient als Referenzsignal, das zur Aufhebung des Hauptsignalanteils verwendet wird. Diese beiden Signalen werden in die Korrekturschleife zur Ausgabe eines hochgradig linearisierten Ausgabesignals gespeist.

15 (Fig. 1)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

EPO - Munich
33
14. März 2001

1/3

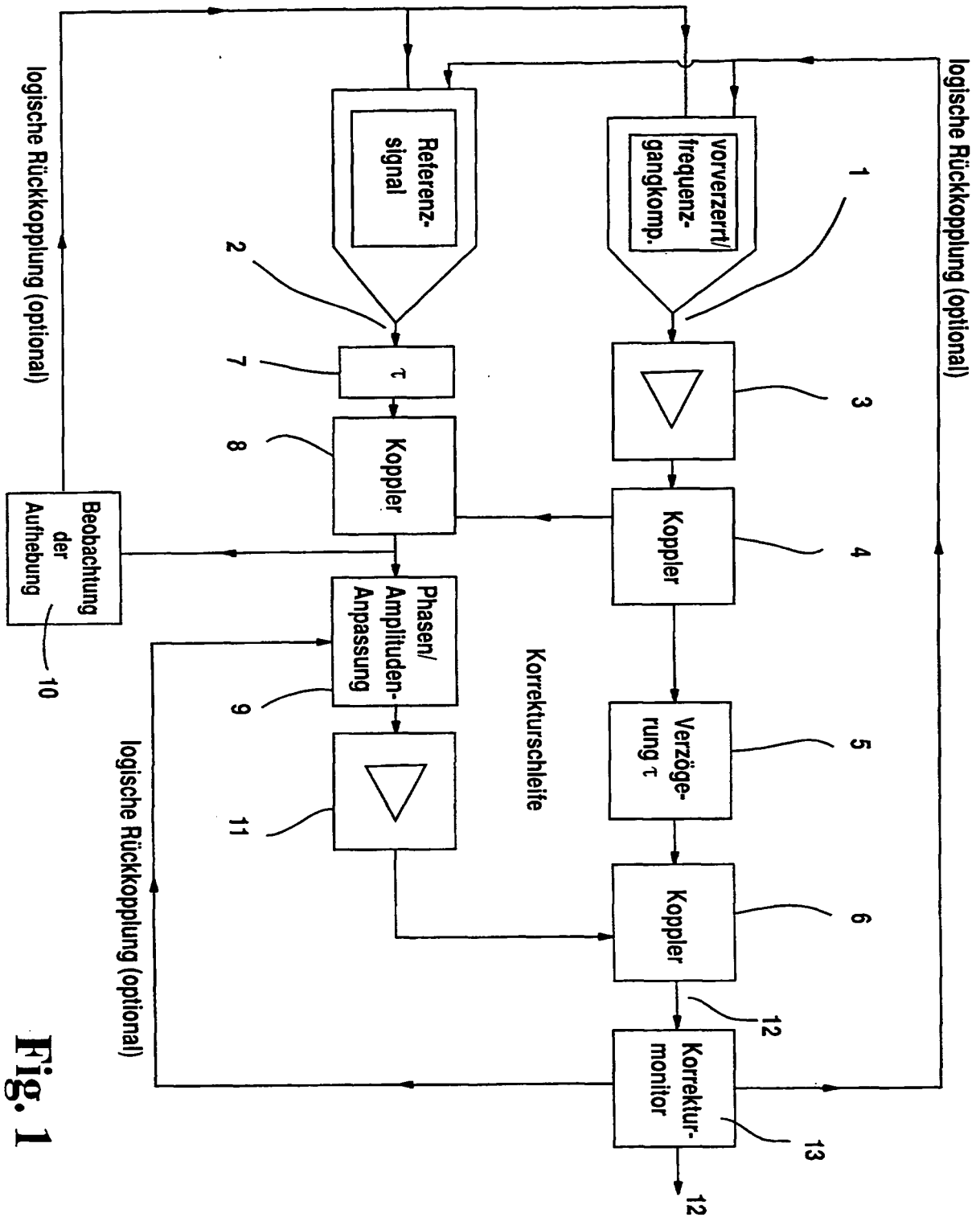


Fig. 1

THIS PAGE BLANK (USPTO)

EPO - Munich
33
14. März 2001

1/3

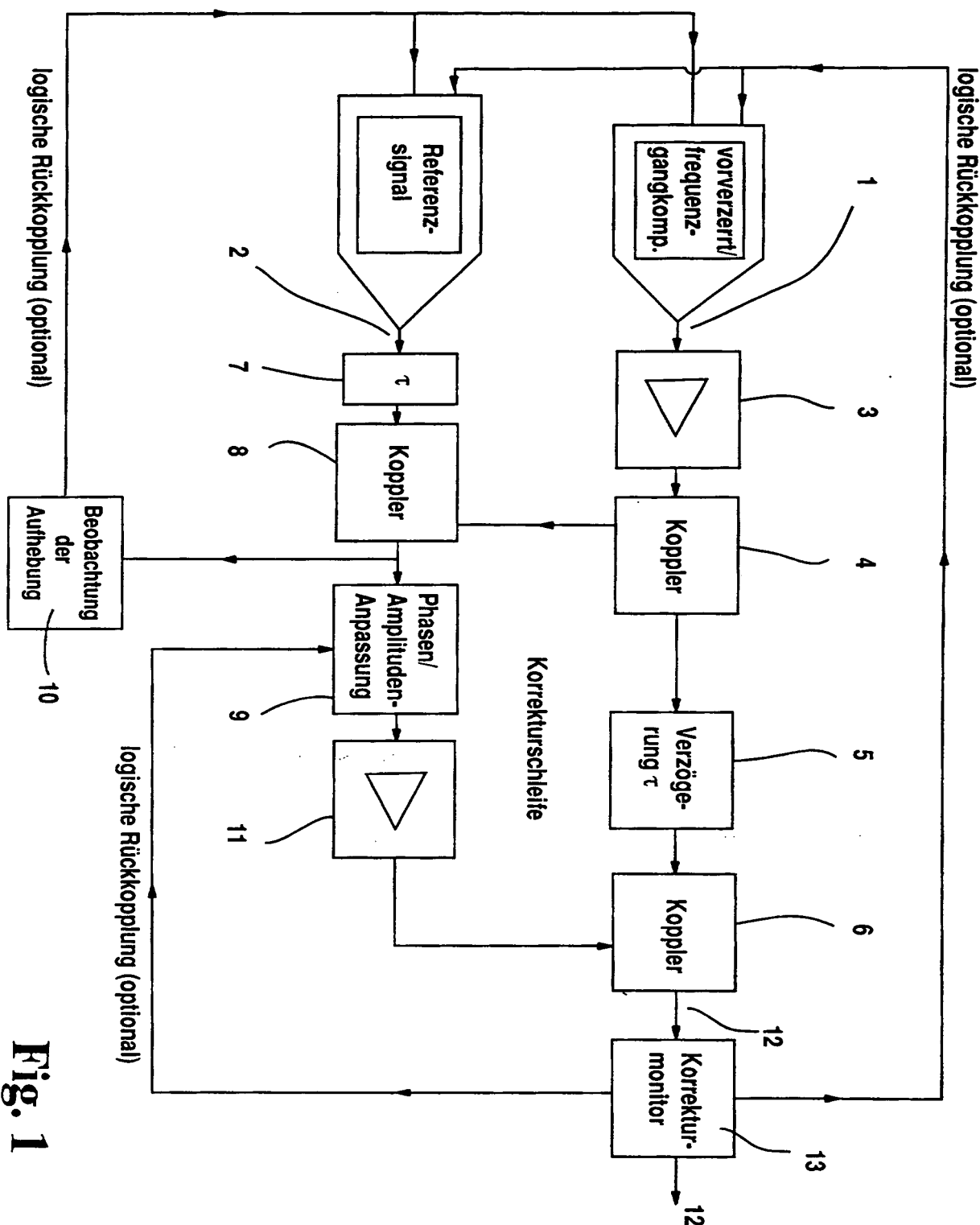


Fig. 1

2/3

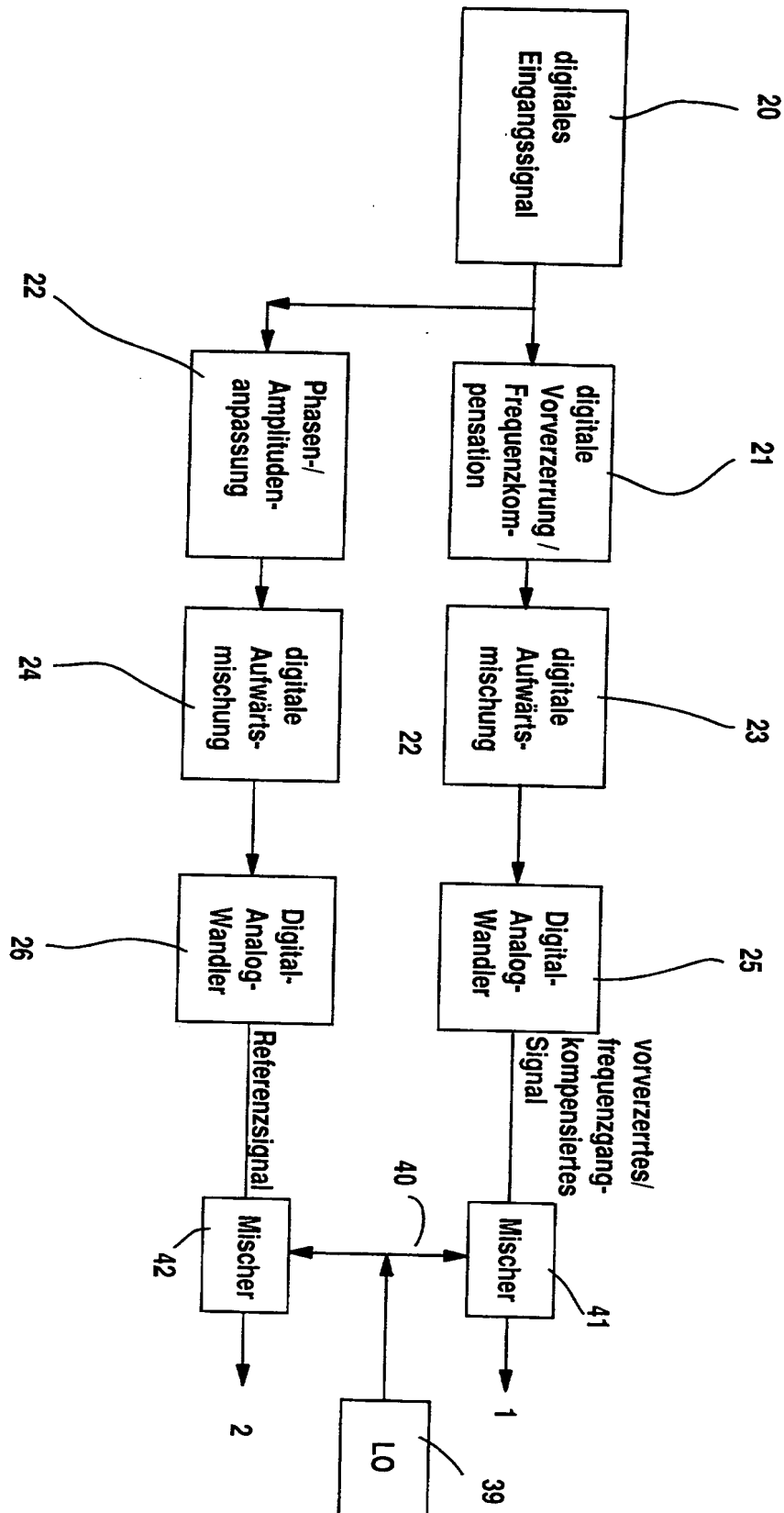


Fig. 2

3/3

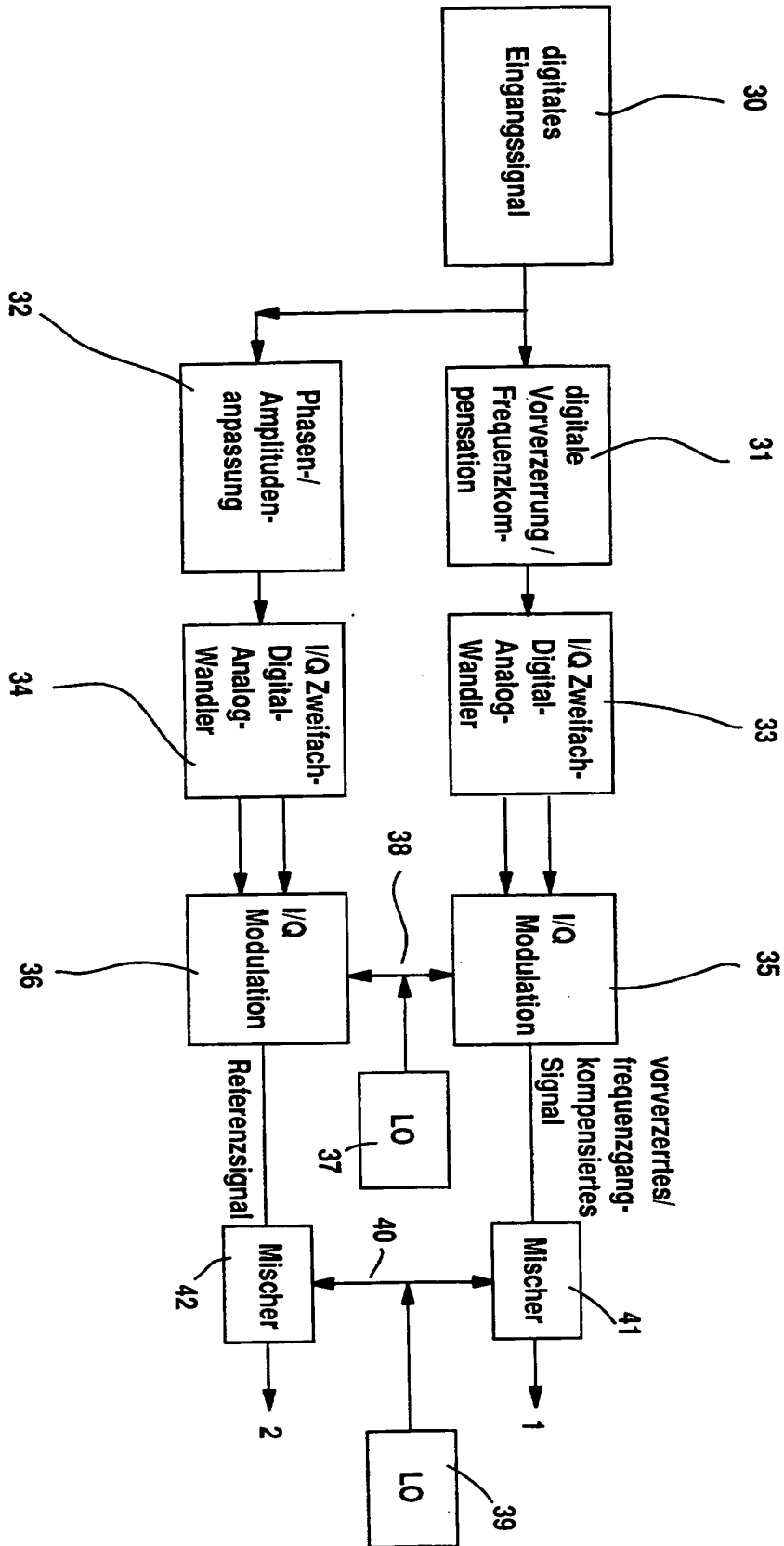


Fig. 3

THIS PAGE BLANK (USPTO)